

低温期に打込まれるコンクリートの温度変化と 強度性状に関する研究（その5）

——低温期におけるコンクリートの施工法——

長尾 覚 博 中 根 淳

Study on Temperature Change and Strength Property of Concrete Placed in Low-Temperature Period (Part 5)

——Method of Cold Weather Concreting——

Kakuhiro Nagao Sunao Nakane

Abstract

This report is on studies of the properties of concrete placed in the cold season when outside air temperatures are in the range of -5°C to $+10^{\circ}\text{C}$, for the purpose of developing a curing method capable of protecting concrete from freezing or freezing and thawing. The point of view in planning cold weather concreting is described. Data and information concerning a rational method of concreting in cold weather are described.

概 要

この報告は、低温期（外気温の範囲が $-5\sim+10^{\circ}\text{C}$ ）に打込まれるコンクリートの打込後初期の凍結による強度低下の防止、凍結融解による強度低下の防止、低温養生による強度発現の予測、凍結を防止するための経済的な養生方法、など低温期における合理的な施工方法を計画するための基本的な考え方を、既実験データと資料をとりまとめて述べたものである。

1. はじめに

低温期に打込まれるコンクリートは、打込後初期の凍結、凍結融解の繰り返し、および低温養生による水和速度の遅延などの原因により、強度の伸びが期待できない場合がある。一方、低温期におけるコンクリート工事を、経済的あるいは合理的に実施するための具体的な方策はあまり明らかでない。

この報告は、低温期における合理的な施工法を確立するために、現場調査、解析、実験など種々検討してきた結果を整理し、低温期におけるコンクリート工事において、強度発現の停滞を防止するための基本的な考え方を述べたものである。

2. 検討項目

検討した項目は、以下に示すとおりである。

(1) 初期の凍結が強度発現に及ぼす影響

室内実験により、凍結までに得られる積算温度（ $T^{\circ}\text{T}$ ）と強度発現との関係を検討し、凍結によって強度低下を生じない初期養生条件を示した。

(2) 初期の凍結融解が強度発現に及ぼす影響

室内実験により、凍結融解を受けるまでに得られる積算温度（ $T^{\circ}\text{T}$ ）と、強度発現との関係を検討し、凍結融解によって強度低下を生じない初期養生条件を示した。

(3) 低温養生が強度発現に及ぼす影響

室内実験と現場調査により検討した。室内実験では、養生温度 $2\sim 20^{\circ}\text{C}$ の範囲で、一定温度養生した場合の強度発現を調査し、現場調査では、実部材の温度履歴と外気温との関係、さらに、コア強度と管理用シリンダー強度との関係を調査した。

(4) 凍結を防止するための初期養生方法の検討

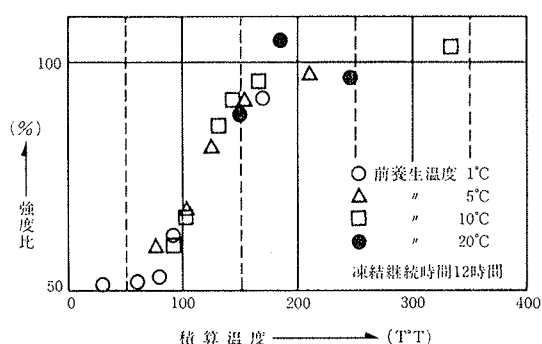
凍結のし易いスラブ部材の初期養生方法について、模擬部材による室内実験と解析の双方により検討した。

3. 検討の結果

各項目の検討結果を以下に示し、低温期におけるコンクリート工事を合理的に実施するための考え方を示した。

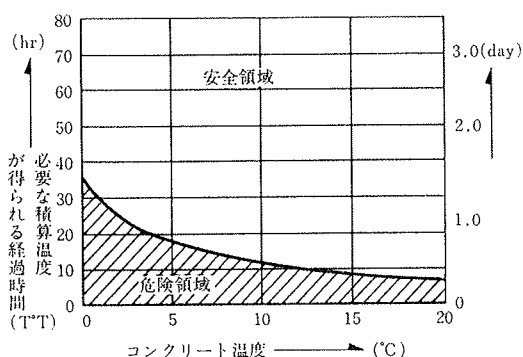
(1) 打込直後の凍結が強度発現に及ぼす影響

コンクリート打込直後の凍結と強度発現との関係は、凍結までの養生期間と養生温度（凍結までに得られる積算温度）に大きな影響を受ける。すなわち、凍結までの経過時間と養生温度から積算温度（ $T^{\circ}T$ ）を計算し、強度との関係を調べると図一1のとおりとなり、初期の積算温度が強度発現に大きな影響を与えることがわかる。



図一1 凍結までに得られる積算温度と強度との関係

また、凍結までに140($T^{\circ}T$)以上の積算温度を得ることによって、凍結による強度低下は防止できることがわかる。これを平均コンクリート温度との関係で、凍結による強度低下の危険領域を図示すると図一2となり、これより、強度低下を防止するために必要な初期養生条件を知ることができる。



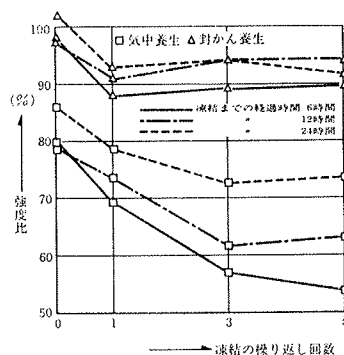
図一2 凍結による強度低下を防止するための初期養生条件

(2) 打込後初期の凍結融解と強度発現

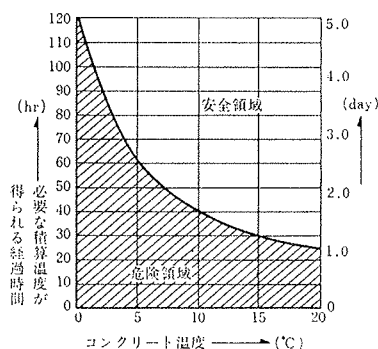
凍結融解によってもコンクリートが劣化し、強度低下を生ずることは一般に認められることである。室内実験の結果によれば、打込後連続して凍結融解の繰り返しを受ける場合には、20°Cで24時間相当以上の養生条件(480 $T^{\circ}T$)を確保する必要がある。また、凍結融解による強

度低下の度合は、封かん養生したものに比べて気中養生のものの方が顕著である(図一3)。

図一3の結果より、打込後初期の凍結融解による強度低下を生じないための、初期養生条件を図示すると、図一4となり、これより凍結融解による強度低下を防止するのに必要な初期養生条件が設定できる。



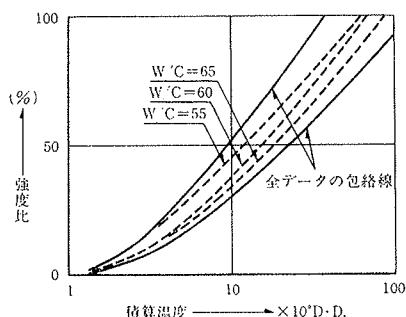
図一3 凍結融解の繰り返しと強度発現との関係



図一4 凍結融解の繰り返しのよって強度低下を生じないための初期養生条件

(3) 低温養生が強度発現に及ぼす影響

低温期におけるコンクリート工事では、低温養生による水和速度の遅延により、温暖な時期に比較して、強度発現の伸びが遅れる傾向がある。すなわち、2~20°Cの範囲で一定温度養生したコンクリートの強度発現を室内実験で調査した結果、強度発現は養生温度に比例し、図一5に示すように積算温度 ($D^{\circ}D$) ときわめて良い対応関係が認められる。



図一5 積算温度と強度発現との関係 (一定温度で養生した場合)

しかし、実際の部材温度は非定常の変化を示すため、一定温度で養生した場合と強度発現の性状が異なることが予想される。しかし室内実験によると、一定温度で養生した場合と、平均温度が同一で非定常の温度変化を与えた場合の強度発現は、図-6に示すように、あまり大きな差が認められない。従って、予想される平均養生温度を求めることによって、図-5から、強度の予測が可能である。

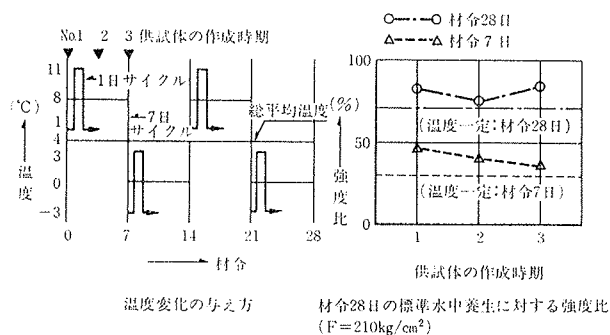


図-6 一定温度と非定常で養生した場合の強度発現の比較

ここで、実際の工事においてあらかじめ強度発現を予測する場合、一番手短かに参考にできるのが、過去の気象データである。例えば、東京の12~2月の各日より起算した場合の積算温度を算出すると図-7となり、これより東京地方のコンクリート打込から材令28日までの積算温度が予測でき、前述の図-5を用いて強度の目安づけが可能となる。

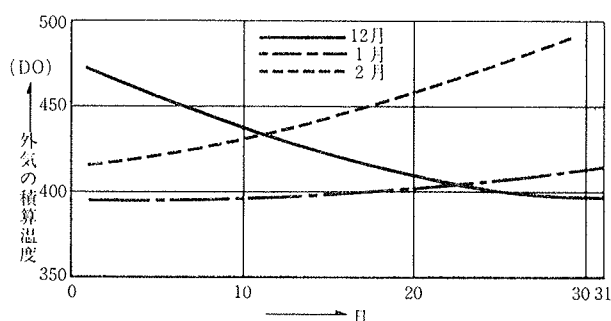


図-7 東京地方の12~2月の各日より起算した場合の材令28日までの積算温度(D°D)

一方、一般建築構造物における各部材の温度変化と外気温との関係は、現場調査によると、材令28日程度では各部材とも外気の平均温度とほぼ比例関係にあり、外気温のデータから積算温度を求めることにより、強度の予測が可能である。

(4) 凍結を防止するための初期養生条件の検討

コンクリート打込後初期における実部材における凍結は、現場調査によると、図-9に示すようにスラブが最も外気温の影響を受けやすく、凍結の危険性が高い。

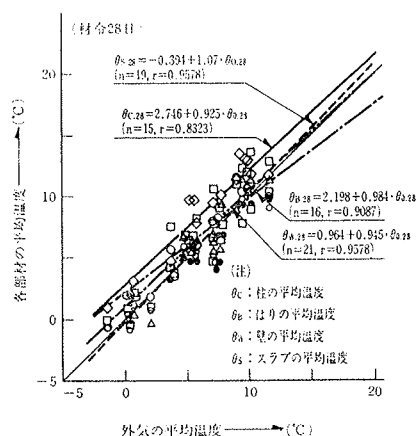


図-8 各部材の平均温度と外気の平均温度との関係

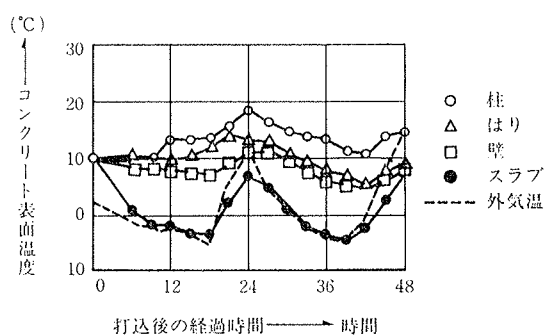


図-9 実部材の温度変化

従って、実部材における凍結防止はスラブについて考慮すればよい。

スラブの凍結は、一般に、コンクリートの打込時刻、外気温、打込時のコンクリート温度の影響を受けることが定性的に考えられている。すなわち、スラブの凍結は打込時刻が遅いほど、また外気温が低いほど、外気温の振幅の小さいほど、さらに打込時のコンクリート温度が低いほど、打込後短時間で最低温度となり、早期に凍結する危険性が増大する。図-10~12はこれらの傾向を室内実験と解析によって定量的に確認した結果である。

これらの傾向をふまえながら、凍結までに得られる積算温度 (T°T) を、コンクリートの打込温度別に解析によって求めた結果は図-11となり、これによりスラブの凍結による強度低下を防止するための、初期養生条件が設定できる。

(5) 低温期における簡単な強度管理方法の提案

低温期における工程管理を合理的に行なうため、実際の工事現場においてコンクリートの初期強度と長期強度を実部材に対応したような形で、簡便に試験できることが望ましい。実部材では、特にスラブ、壁などの部材厚の薄いものの強度が、せき板のとりはずし、支保工の除去などの工程管理上必要なデータとなる。従って、実部材の条件にできるだけ近く、かつ供試体の作成および試

験ともに簡便なことが望ましい。

そこで一案として、15 cm 角立方体を合板型枠で作成し、実部材強度（コア）との対応を試みたところ、よく一致しており、簡易で合理的な強度管理方法として十分適用可能と思われる。

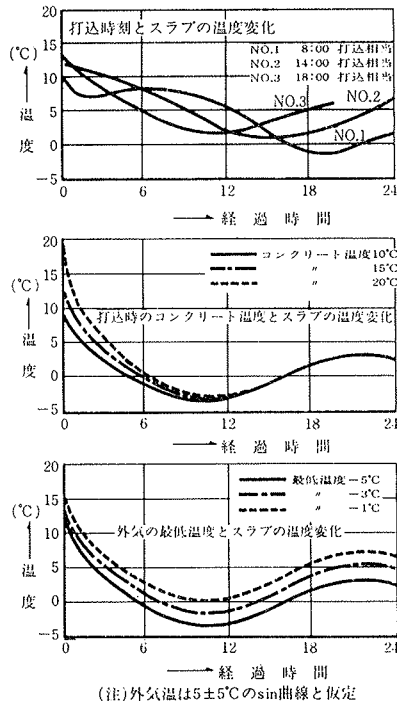


図-10 スラブの凍結に及ぼす各種要因の影響

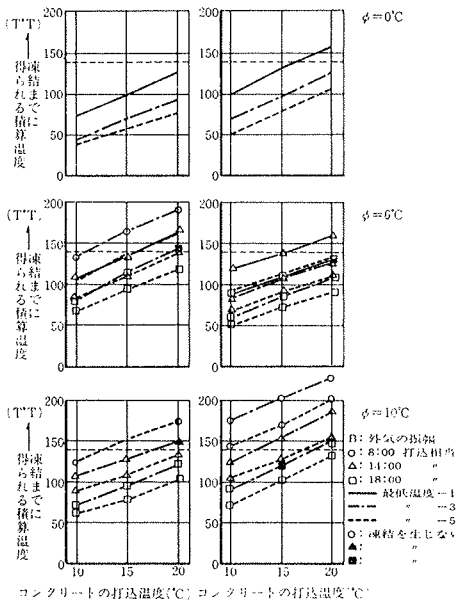


図-11 スラブの凍結までに得られる積算温度

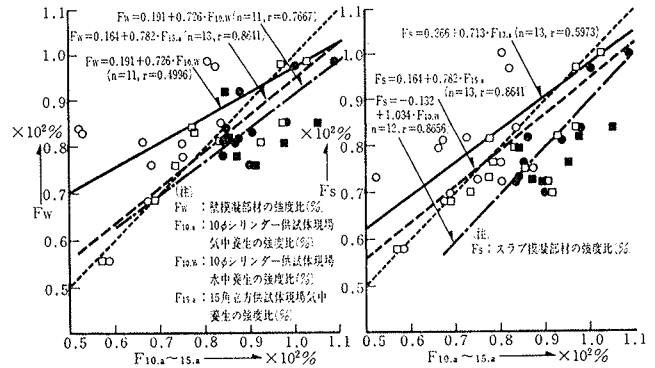


図-12 各種養生供試体と模範部材の強度比の比較

4. 低温期におけるコンクリート工事の施工上の注意点

各項目の検討結果に基づいたコンクリート工事における施工上の注意点並びに提案事項を以下に列記する。

(1) 打込直後に凍結を生ずと思われる場合には、積算温度で 140 T·T 以上を得るように、初期養生条件を確保する。

(2) 打込直後に数回の凍結融解が連続して生ずと思われる場合には、積算温度で 480 T·T 以上を得るように、初期養生条件を設定する。

(3) スラブの凍結を防止するためには、以下の点に留意する。

- ①できるだけ早い時刻にコンクリートを打込む。
- ②打込時のコンクリート温度はできるだけ高くする。
- ③コンクリートの打込は、外気温が -3°C 以上の時とする。
- ④ただし、凍結の危険性が高いと予想される場合には、シート1層養生程度の養生を施す。

(4) コンクリート打込後、予想される外気温によって強度の予測をすることが可能である。

(5) 実部材の強度管理用として、合板型枠による 15 cm 角立方体供試体が合理的である。

参考文献

- 1) 長尾, 他: 低温期に打込まれるコンクリートの温度変化と強度性状に関する研究 (その1~4), 大林組技術研究所報; No. 24, (1982), pp. 138~144; No. 25, (1982), pp. 36~40; No. 29, (1984), pp. 49~53; No. 31, (1985), pp. 51~54